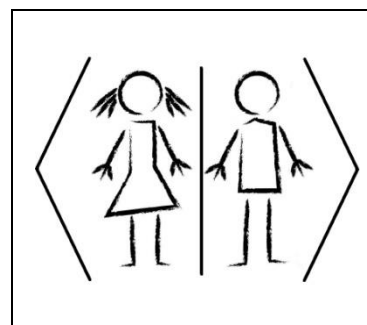


1. Название: Избранные разделы квантовой механики
Course title: Selected topics of quantum mechanics

2. Лекторы: Игорь Рожанский, Никита Аверкиев
Lecturers: Igor Rozhansky, Nikita Averkiev



3. Краткая аннотация:

В курсе излагаются избранные темы квантовой механики. Изложение включает операторный и матричный методы квантовой механики, квантование физических систем, теорию углового момента и спина, теорию возмущений и квантовых переходов, задачу рассеяния, вторичное квантование, релятивистское описание, расчет зонной структуры твердых тел, некоторые понятия квантовой теории поля. В курс включены примеры и задачи из разных областей квантовой физики.

Short annotation:

The course outlines selected topics of quantum mechanics. The presentation includes the operator and matrix methods of quantum mechanics, the quantization of physical systems, the theory of angular momentum and spin, the perturbation theory and theory of quantum transitions, the scattering problem, secondary quantization, relativistic description, band structure of solids, elements of quantum field theory. The course includes examples and tasks from different areas of quantum physics.

4. Название программы и семестр: Физика полупроводников, 3 семестр
Study program and semester: Physics of semiconductors, 3rd semester

5. Детальное описание курса с разбиением по лекциям/семинарам/практикам:

1	Операторы и наблюдаемые. Волновая функция Принцип неопределенности. Нестационарное уравнение Шредингера. Временная эволюция. Прецессия спина в магнитном поле. Задача об осцилляциях нейтрино.	лекция
2	Дискретный спектр. Квантовая яма с бесконечными стенками и конечной глубины. Реальные квантовые ямы в гетероструктурах. Гетероструктуры с инверсной зонной структурой. Задача о критической толщине квантовой ямы HgTe/CdTe. Аналогия между модами в диэлектрическом волноводе и волновой функции носителя в одномерной потенциальной яме.	лекция
3	Туннелирование через потенциальный барьер. Уравнение неразрывности и сохранение потока. Метод матриц переноса. Туннелирование частиц. Резонансное туннелирование Брейта-Вигнера, вывод коэффициента прохождения.	лекция
4	Движение электрона в магнитном поле. Уровни Ландау. Преобразование волновой функции при изменении калибровки	лекция

	векторного потенциала. Целочисленный квантовый эффект Холла. Волновая функция электрона в магнитном поле в двумерном случае. Магнитная длина. Квантование поперечной проводимости. Краевые состояния.	
5	Оператор углового момента как генератор вращений. Вывод основных свойств оператора углового момента из коммутационных соотношений поворотов. Орбитальный момент и спин.	лекция
6	Стационарная теория возмущений. Квантоворазмерный эффект Штарка в светодиодных гетероструктурах. Спин в магнитном поле. Эффект Зеемана линейный. Стационарная теория возмущений для вырожденного уровня Эффект Зеемана квадратичный	Лекция
7	Теория рассеяния. Амплитуда и сечение рассеяния. Борновское приближение. Т-матрица. Фазовая теория рассеяния. Оптическая теорема. Рассеяние на твердой сфере.	Лекция
8	Нестационарная теория возмущений. Вероятность и скорость квантовых переходов для различных типов нестационарных возмущений. Золотое правило Ферми. Правила отбора для оптических переходов. Медленные возмущения, фаза Берри.	Лекция
9	Тождественные частицы. Обменное взаимодействие. Потенциальный обмен в системе с центральным кулоновским потенциалом, правило Хунда (вывод). Молекула водорода. Эффективный гамильтониан Гейзенберга. Расщепление энергетических уровней по суммарному спиновому моменту. Энергия и волновые функции триплетного и синглетного состояний.	Лекция
10	Минимальные модели метода сильной связи. Физические причины образования химической связи. Модель Хаббарда. Вычисление энергии и волновых функций низкоэнергетических состояний с помощью downfolding. Одночастичная функция Грина. Связь функции Грина с плотностью состояний. Косвенное обменное взаимодействие в системе с двумя узлами.	Лекция
11	Вторичное квантование. Волновая функция в представлении вторичного квантования. Правила коммутации для операторов рождения и уничтожения. Выражение операторов физических наблюдаемых в представлении вторичного квантования. Гамильтониан приближения сильной связи в представлении вторичного квантования. Расчет энергетического спектра одномерной цепочки.	Лекция
12	sp ³ -гибридизация. Вид волновой функции основного состояния. Графен. Гамильтониан в модели сильной связи в приближении несвязанных подрешеток. Гамильтониан графена в импульсном представлении. Вывод линейного энергетического спектра в окрестности К-точки. Псевдоспин в графене. Связь псевдоспина с квазиимпульсом. Псевдоспин в двухуровневой системе.	Лекция
13	Уравнение Дирака в одномерном и трехмерном случае. Вывод уравнения Паули. Разложение по степеням v/c, релятивистские поправки. Спин-орбитальное взаимодействие. Клейновское туннелирование. Краевое состояние на границе материалов с разным знаком массы. Связь инверсии зонной структуры со спин-орбитальным взаимодействием. Связь спина с импульсом в краевом	Лекция

	состоянии.	
14	Теорема Блоха. $k \cdot r$ теория возмущений с учетом спин-орбитального взаимодействия. Расчет энергетического спектра и эффективной массы электронов, легких и тяжелых дырок. Расщепление энергетических подзон за счет внутризонных матричных элементов, линейные по k слагаемые. Спин-орбитальное взаимодействие Рашбы и Дрессельхауза. Связь среднего спина с квазиимпульсом.	Лекция
15	Симметрия по отношению к инверсии времени. Свойства оператора инверсии времени. Теорема Крамерса. Симметрия по отношению к пространственной инверсии. Линейные по k слагаемые, обусловленные спин-орбитальным взаимодействием с точки зрения симметрий к инверсии времени и пространственной инверсии.	Лекция
16	Представления Шредингера, Гейзенберга. представление взаимодействия. Полевые операторы. Выражение операторов физических наблюдаемых через полевые операторы. Функция Грина многочастичной системы. Связь наблюдаемых с функцией Грина.	Лекция

Detailed content and structure with sectioning of lectures/seminars:

1	Operators and observables. Wave function uncertainty principle. The non-stationary Schrödinger equation. Time evolution Precession is a spin in a magnetic field. The problem of neutrino oscillations.	lecture
2	Discrete spectrum. Quantum well with infinite walls and finite depth. Real quantum wells in heterostructures. Heterostructures with inverse band structure. The problem of the critical thickness of the HgTe / CdTe quantum well. Analogy between modes in a dielectric waveguide and a carrier wave function in a one-dimensional potential well.	lecture
3	Tunneling through a potential barrier. The equation of continuity and conservation of flow. The transfer matrix method. Particle tunneling. Breit-Wigner resonant tunneling, the derivation of the transmission coefficient.	lecture
4	Electron motion in a magnetic field. Landau levels. Transformation of the wave function when changing the calibration of the vector potential. Integer quantum Hall effect. The wave function of an electron in a magnetic field in the two-dimensional case. Magnetic length. Quantization of transverse conductivity. Edge states.	lecture
5	The angular momentum operator as a generator of rotations. The derivation of the basic properties of the angular momentum operator from the commutation relations of turns. Orbital moment and spin.	lecture
6	Stationary perturbation theory. Quantum-dimensional Stark effect in LED heterostructures. Spin in a magnetic field. Zeeman effect linear. Stationary perturbation theory for a degenerate level. Zeeman effect quadratic	lecture
7	Scattering theory. Amplitude and scattering cross section. Born approximation. T-matrix Phase scattering theory. Optical theorem. Scattering on a hard sphere.	lecture
8	Non-stationary perturbation theory. The probability and rate of quantum transitions for various types of nonstationary perturbations. Fermi's golden rule. Selection rules for optical transitions. Slow disturbances,	lecture

	Berry phase..	
9	Identical particles. Exchange interaction. Potential exchange in a system with a central Coulomb potential, Hund's rule (inference). Hydrogen molecule Effective Heisenberg Hamiltonian. Splitting of energy levels by the total spin moment. Energy and wave functions of the triplet and singlet states.	Lecture
10	Minimal models of the strong coupling method. Physical causes of chemical bonding. Hubbard model. Calculation of energy and wave functions for low-energy states using downfolding. Single-particle Green function. Connection of the Green function with the density of states. Indirect exchange interaction in a two-node system.	Lecture
11	Secondary quantization. Wave function in the secondary quantization representation. Switching rules for operators of birth and destruction. The expression of the operators of physical observables in the second quantization representation. Hamiltonian of strong coupling approximation in the representation of secondary quantization. Calculation of the energy spectrum of a one-dimensional chain.	Lecture
12	sp ³ hybridization. View of the ground state wave function. Graphene. Hamiltonian in the strong coupling model in the approximation of uncoupled sublattices. Graphene Hamiltonian in the momentum representation. Derivation of the linear energy spectrum in the vicinity of the K-point. Pseudospin in graphene. Connection of pseudospin with quasi-momentum. Pseudospin in a two-tier system.	Lecture
13	Dirac equation in one-dimensional and three-dimensional case. Derivation of the Pauli equation. Expansion in v/c powers, relativistic corrections. Spin-orbit interaction. Klein tunneling. Edge state at the boundary of materials with a different mass sign. Connection of band structure inversion with spin-orbit interaction. Spin-momentum locking in the edge state.	Lecture
14	Bloch theorem. $k \cdot p$ perturbation theory with account for spin-orbit interaction. Calculation of the energy spectrum and the effective mass of electrons, light and heavy holes. The splitting of energy subbands due to intraband matrix elements, linear in k terms. Spin-orbit interaction of Rashba and Dresselhaus. Connection of the average back with a quasi-momentum.	Lecture
15	Symmetry with respect to time inversion. Properties of the time inversion operator. Kramers theorem. Symmetry with respect to spatial inversion. Linear in k terms, due to spin-orbit interaction from the point of view of symmetries to time inversion and spatial inversion.	lecture
16	Schrödinger, Heisenberg. interaction representations. Field operators. The expression of operators of physical observables through field operators. Green's function of multiparticle system. Connection of the observed with the Green's function.	Lecture

6. Рекомендованная литература:

- 1) Квантовая механика. (2-е изд.) / Л. Шифф – М.: ИЛ _____, 1959 – ISBN 978-0070856431.
- 2) Квантовая механика (нерелятивистская теория). — Издание 6-е, исправленное. / Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. — М.: Физматлит, 2004. — 800 с. — («Теоретическая физика», том III). — ISBN 5-9221-0530-2.
- 3) Задачи по квантовой механике / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган, М.:Наука, 2001 - 301 с.: ил. ISBN: 5-02-014365-0.
- 4) Квантовая механика (3-е изд) / А.С. Давыдов - С.-Петербург.: БХВ-Петербург, 2011 - 704 с.: ил. ISBN: 978-5-9775-0548-2.
- 5) Quantum Mechanics /D. H. McIntyre - Pearson. 2014 - 815 с ил. ISBN 978-4-292-02083-
- 6) Modern quantum mechanics. - 2nd ed. / J.J. Sakurai, J. Napolitano, – Addison-Wesley, 2011. – 550 p. – ISBN: 978-0-8053-8291-4.
- 7) Quantum Mechanics. A New Introduction/ К.Konishi, G.Pafutti - Oxford University Press, 2009 - 778 с. ил. ISBN 978-0-19-956026-4
- 8) Квантовая механика : курс лекций / В. В. Киселев. - Москва : Издательство МЦНМО, 2009. - 560 с. : ил. ; ISBN 978-5-94057-497-2
- 9) Задачи по квантовой механике : [в 2 т.] / З. Флюгге ; Москва : URSS, Т. 1. - 2009. - 341 с. : ил. - ISBN 978-5-382-01090-8 :
- 10) Introduction to quantum mechanics / D. Griffiths (2nd Edition), Pearson, 2014 - 469 с. ил. - ISBN 978-0131118928

7. Предварительно пройденные курсы, необходимые для изучения предмета: общая физика, квантовая механика

Course prerequisites: general physics, quantum mechanics

8. Как оценивается успеваемость по курсу:

Максимальное количество баллов за курс	100
Максимальное количество баллов за решение задач	0
Максимальное количество баллов за выступление на семинаре	0
Максимальное количество баллов за практическую работу	20
Максимальное количество баллов за финальный устный экзамен	80

Grading policy:

Highest final grade for the course	100
Highest final grade for the problem solving	0
Highest final grade for the talk at the seminar	0
Highest final grade for the practicum	20
Highest final grade for the final oral exam	80